

基于 FPGA 的多节点光纤传输系统设计与实现

许义宝,胡永兵,陈庆然

(安徽大学 计算智能与信号处理教育部重点实验室,安徽 合肥 230601)

摘要:传统的人工巡检输油管线抄表采集数据的方法效率低下、实时性差,已无法满足现今石油管道运输的发展需求。为满足管线状态实时监测的需求,实现输油管线多监测节点远距离状态数据采集的智能化,基于 FPGA 和光纤通信技术,设计实现了一种多节点串联的数据采集传输系统。单个节点设备以 FPGA 和光纤收发模块为主要硬件基础,使用 Verilog HDL 语言对 FPGA 进行编程设计完成对节点数据处理并通过光纤传输,再通过多个节点设备之间的串联形成一个数据采集传输链,从而实现对多监测节点的数据采集。测试结果表明,系统工作稳定,可以完成对输油管线多监测节点的数据自动、实时的采集和传输,克服了传统的数据采集方式过于依靠人力的弊端,大大降低了监测成本。

关键词:FPGA; Verilog HDL; 光纤通信; 多节点; 数据采集

中图分类号:TN919

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2018)03-0197-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2018.03.042

Design and Implementation of Multi-node Optical Fiber Transmission System Based on FPGA

XU Yi-bao, HU Yong-bing, CHEN Qing-ran

(Key Laboratory of Intelligent Computing & Signal Processing of Ministry of Education,
Anhui University, Hefei 230601, China)

Abstract: The traditional manual inspection method for collecting data from oil pipeline is inefficient and poor in real time, which cannot meet the demand of petroleum pipeline transportation. In order to meet the needs of real-time monitoring of the pipeline condition, realization of intelligence of long-distance state data acquisition for pipeline monitoring node, we design and implement a data acquisition and transmission system of multi-node tandem based on FPGA and optical fiber communication technology. Taking FPGA and fiber optic transceivers as the main hardware base, the single node equipment uses Verilog HDL for programming to FPGA and completes the data processing through optical fiber transmission. Then the acquisition transmission chain can be formed through the series of multiple node devices to achieve the data acquisition of multi-monitoring node. The tests show that the system is stable and capable of completing the automatic and real-time acquisition and transmission of data to pipeline monitoring nodes, which overcomes the traditional data collection of relying too heavily on human and greatly reduces the monitoring cost.

Key words: FPGA; Verilog HDL; optical fiber communication; multi-node; data acquisition

0 引言

随着经济的快速发展,工业在国民经济中所占的比重大幅增加,对石油的需求量也是与日俱增^[1]。由于管道运输石油具有运输量大、经济、安全、可靠等优点^[2],因此现代工业运输石油较多采用管道运输的方式。然而,早期的输油管线运行状态数据采集主要是通过人工巡检抄表方式完成,效率低下且实时性差,无法达到对管线状态的实时监测^[3],存在一定的局限性。

与传统的以电信号为媒介的传输网络相比,光纤传输^[4]具有传输容量大、传输损耗小、重量轻、不怕电磁干扰等优点。相比于单片机^[5],FPGA^[6]运行速度快,I/O资源丰富;FPGA内部各模块并行运行,有处理更复杂功能的能力;电路的改动通过修改代码即可完成,具有很强的灵活性。

文中提出一种基于FPGA的多节点串联光纤传输系统,对输油管线各监测节点的流量、压力及温度等数

收稿日期:2017-04-03

修回日期:2017-08-10

网络出版时间:2017-12-05

基金项目:国家自然科学基金(61272317)

作者简介:许义宝(1992-),男,硕士研究生,CCF会员(74245G),研究方向为嵌入式系统应用与研究;胡永兵,讲师,研究方向为超精密运动控制/嵌入式系统应用与研究。

网络出版地址: <http://cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20171205.0903.008.html>

据信息进行采集、汇总并将数据传输至远程监测中心,从而实现 对管线运行状态的实时监测,克服了早期输油管线运行状态数据采集过于依靠人力的弊端,减小了输油管线运行状态监测的成本。

1 系统总体方案

输油管道中流量、压力及温度等数据是需要监测的重要信息^[7],输油管线每间隔一段距离便会布置一个监测节点,即数据采集设备。文中通过对每个数据采集设备配套一个对应地址的节点设备用以完成对本节点数据的采集,再通过多个节点设备的串联,实现了多个节点的数据采集。系统总体方案示意图如图 1 所示。

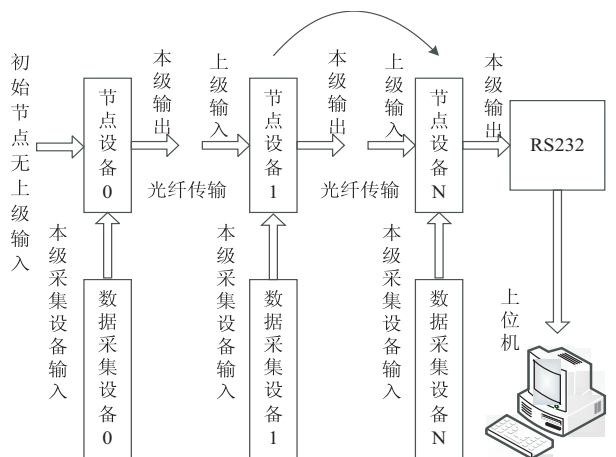


图 1 系统总体方案示意图

2 系统硬件设计

系统中节点设备的硬件电路设计主要包括 FPGA 选型、外围电路设计,外部存储模块设计以及光电转换模块设计,节点设备的硬件原理框图如图 2 所示。

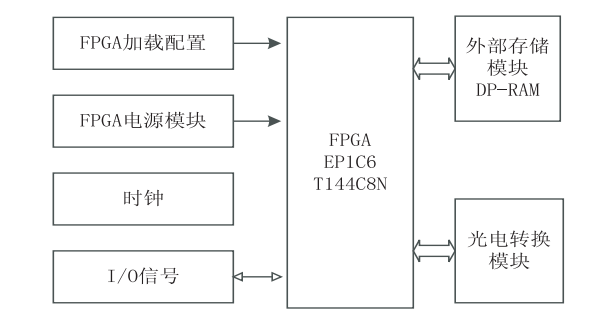


图 2 节点设备硬件原理框图

该设计中选用的 FPGA 芯片型号为 EP1C6T144 C8,器件逻辑资源丰富,拥有 5 980 个逻辑单元(LE), 2 个 PLL,片内存储器达到 92 160 bit,最多 104 个用户 I/O^[8]。FPGA 外围电路设计主要包括:FPGA 配置下载电路以及 FPGA 电源电路。该设计采用了 AS 和 JTAG^[9]两种下载配置方式。FPGA 电源电路采用 AMS1117-1.5 线性稳压器将外部输入的 3.3 V 电压

转换为 1.5 V 的 FPGA 所需内核电压^[10]。由于 FPGA 的内部 RAM 资源有限,同时还要存储编码数据,因此采用外部 RAM 进行数据存储,选用 IDT 公司芯片 IDT70V05,3.3 V、32 k×8 bit 异步高速双端口静态 RAM。光电转换模块接口电平标准为 CML/LVPECL,最高支持 2.5 Gbit/s 传输速率。光发射部分,单模光纤,中心波长 1 550 nm;光接收部分,接收灵敏度 高,波长响应范围 1 100 ~ 1 650 nm。

3 FPGA 程序设计

FPGA 程序设计是系统的核心。该设计中使用 Verilog HDL^[11]语言采用自上而下^[12]的设计方法,顶层模块包含有上级输入数据接收缓存模块、本节点数据源接收缓存模块和本级数据输出模块三大部分,各功能模块在 Altera 公司的 Quartus II 13.0 软件下采用 Verilog HDL 语言设计完成,并在 Modelsim 软件下编写 Testbench^[13]进行仿真测试。系统程序模块框图如图 3 所示。

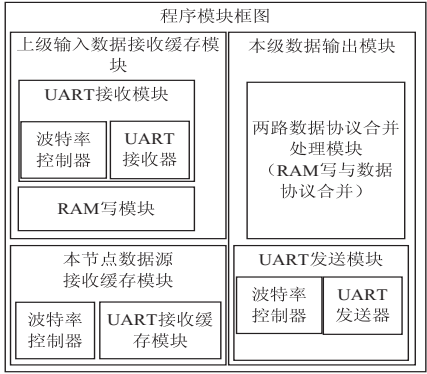


图 3 系统程序模块框图

3.1 通信协议与数据校验

对于节点设备,有两路数据通信,分别为节点设备与节点设备、节点设备与数据采集设备。单字节的传输协议采用的是 RS-232C 标准^[14],两路数据通信采用的是自定义通信协议,数据校验^[15]采用校验和^[16]算法,数据帧格式定义如图 4 所示。

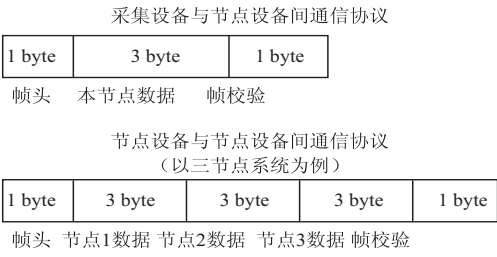


图 4 数据帧格式定义

节点设备与采集设备间通信数据帧的第一个字节为帧头,接下来是三个字节的数 据,即为采集设备需要传输给节点设备的数据信息,最后一个字节是数据帧的帧校验字节。节点设备与节点设备间的通信数据帧

长度与系统预期设计的节点数有关,节点数目越多,数据帧长度越长。以三节点系统为例,数据帧的第一个字节为帧头,接下来每连续三字节分别是采集设备1、采集设备2和采集设备3数据的存放位置,共占九个字节长度,最后一个为帧校验字节。

3.2 数据接收缓存

节点设备接收两路数据,FPGA 程序中的上级输入数据接收缓存模块将来自上级节点设备的数据帧接收缓存于 RAM 中,本节点数据源接收缓存模块将自本级数据采集设备的数据帧接收缓存于数据寄存器中。两个模块工作原理类似,以上级输入数据接收缓存模块为例,其程序流程图如图 5 所示。

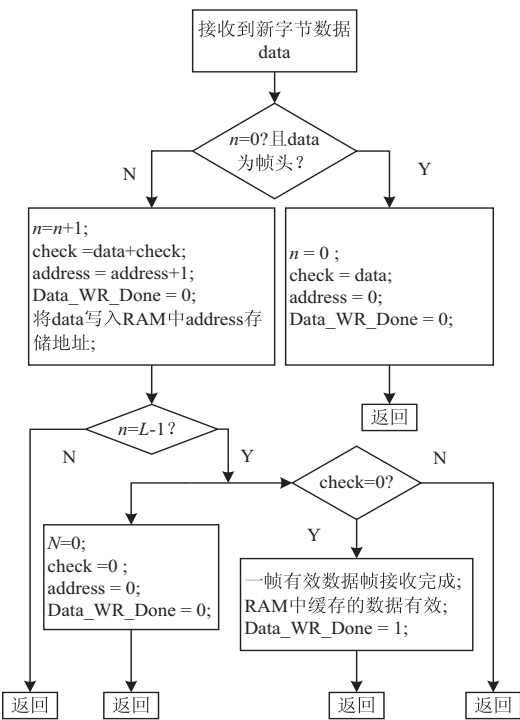


图 5 上级输入数据接收缓存模块程序流程

图 5 中的 data 表示 UART 模块收到的字节数据; n 表示从帧头开始接缓存的字节个数; L 表示数据帧的长度; check 表示帧校验字节,随着接收字节的增加而更新,一帧字节接收完成后,通过其值判断缓存的数据帧是否有效; address 表示数据存储于 RAM 中的地址,其数值会随着接收字节个数对应自增; Data_WR_Done 是数据帧缓存完成且有效的指示信号,下级数据协议合并处理模块通过检测其上升沿来触发工作。

3.3 数据协议处理

节点设备接收两路数据,上级输入数据接收缓存模块将来自上级节点设备的数据帧接收缓存于 RAM 中,若一帧有效数据帧接收缓存完成,则数据有效指示信号 2 变为高电平并保持一个时钟周期;本节点数据源接收缓存模块将自本级数据采集设备的数据帧接收缓存于数据寄存器中,若一帧有效数据帧接收缓存完

成,则数据有效指示信号 1 变为高电平并保持一个时钟周期。

当检测到数据有效指示信号 2 产生上升沿时,触发本级数据输出模块工作,首先发送帧头字节,接着逐个地址读取缓存于 RAM 中的数据并发送,当到达本节点号对应地址位置时,不读取 RAM 中数据,而是判断数据有效指示信号 1 是否为高电平,若为高电平,则将寄存器中缓存的数据放于对应位置发送出去,若为低电平,则对应位置发送三个字节 00H,代表为空,最后发送帧校验字节,帧校验字节是由帧头和数据字节计算出的和校验字节;若系统长时间未检测到数据有效指示信号 2 产生上升沿,则系统设备为启动自动发送数据全为 00H 的空数据帧,同时检测数据有效指示信号 1,若为高电平,则将寄存器中缓存的数据放于数据帧中节点地址对应数据位置,为低电平,则对应位置数据不变,均为 00H,代表为空。如此保证了串联的数据传输系统不会因某两个节点间通信的断开而停止工作。

4 系统测试

系统运行测试如图 6 所示。搭建一个三节点的系统进行功能测试,用三个 AVR-Mega16A 最小系统板来模拟数据采集设备 0、1 和 2,数据采集设备发送数据的波特率为 9 600 bit/s,节点设备与节点设备间波特率设置为 115 200 bit/s,将节点设备 2 的输出用 RS232 模块连接至 PC 观察具体数值。测试结果表明,系统运行正常,节点设备与节点设备间通信正常,数据经光纤传输准确无误。

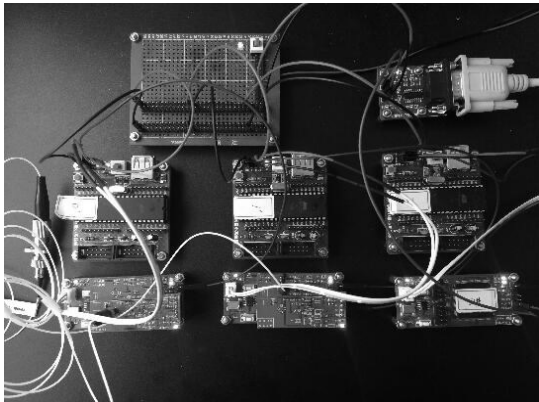


图 6 系统运行测试图

5 结束语

设计实现了一种多节点的数据采集传输系统。系统能够完成输油管线各监测节点流量、压力及温度等数据信息采集的自动化和信息化,进而实现对输油管线运行状态的实时监测,克服了早期数据采集过于依靠人力的弊端,减小了输油管线运行状态监测的成本,

提高了数据采集的稳定性和安全性。系统测试运行工作稳定,能够实现预期设计的功能。

参考文献:

- [1] 刘朝全,姜学峰. 2016 年国内外油气行业发展报告[M]. 北京:石油工业出版社,2016.
- [2] 张其莘,赵 静. 油气管道运输发展现状及问题分析[J]. 石化技术,2016,23(10):252-253.
- [3] ANGIONI A, SHANG J, PONCI F, et al. Real-time monitoring of distribution system based on state estimation[J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2016, 65(10):2234-2243.
- [4] DAVIS C C, MURPHY T E. Fiber-optic communications [in the spotlight][J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2011, 28(4):150-152.
- [5] 吕俊亚. 一种基于单片机的温度控制系统设计与实现[J]. 计算机仿真,2012,29(7):230-233.
- [6] 王占领,张登福,李云杰. 基于 ARM 和 FPGA 的 1553B 总线设备检测系统的设计[J]. 计算机工程与科学,2014,36(6):1005-1010.
- [7] XIA Changqing, LIU Wei, DENG Qingxu. Cost minimization of wireless sensor networks with unlimited-lifetime energy for monitoring oil pipelines[J]. IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica, 2015, 2(3):290-295.
- [8] LUPON E, BUSQUETS-MONGE S, NICOLAS-APRUZZESE J. FPGA implementation of a PWM for a three-phase DC-AC multilevel active-clamped converter[J]. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2014, 10(2):1296-1306.
- [9] 姜宏旭,刘亭杉,李辉勇,等. FPGA+DSP 异构视频处理系统中基于 SRIO 的数据高效传输方法[J]. 计算机学报, 2015, 38(6):1119-1130.
- [10] 袁俊杰,胡天宇. 基于 FPGA 的多传感器集成光纤传输系统[J]. 仪表技术与传感器,2015(3):43-46.
- [11] 朱永华,朱 聪,郑衍衡. 基于 FPGA 的高性能计算中全局流水的研究[J]. 计算机工程与设计,2011,32(10):3382-3385.
- [12] 嵇晓强,戴 明,孙丽娜,等. 机载多路视频图像采集与传输系统[J]. 计算机工程,2012,38(6):16-18.
- [13] PEDRONIV A. Circuit design with VHDL[M]. [s. l.]:MIT Press,2004.
- [14] VIJAYA V, VALUPADASU R, CHUNDURI R R, et al. FPGA implementation of RS232 to universal serial bus converter[C]//2011 IEEE symposium on computers & informatics. [s. l.]:IEEE,2011:237-242.
- [15] 张树刚,张遂南,黄士坦. CRC 校验码并行计算的 FPGA 实现[J]. 计算机技术与发展,2007,17(2):56-58.
- [16] 陈金平,王生泽,吴文英. 基于 LabVIEW 的串口通信数据校验和的实现方法[J]. 自动化仪表,2008,29(3):32-34.

热烈祝贺

2017 中国计算机大会取得历史性成功!

2017 中国计算机大会(CNCC 2017)于 2017 年 10 月 26-28 日在福州举行。CCF 理事长、中国工程院院士高文,CCF 名誉理事长、中国工程院院士李国杰出席大会。电气与电子工程师协会计算机学会(IEEE-CS)、美国计算机学会(ACM)、日本信息处理学会(IPSJ)、韩国信息科学学会(KIISE)和澳大利亚计算机学会(ACS)等外国社团均派要员和专家参加会议并向大会致辞。

大会开幕式由 CCF 秘书长杜子德主持。大会主席、中科院计算所所长孙凝晖,中国工程院院士、福州大学校长付贤智,福州市委副书记、福州市市长尤猛军分别致辞。新华社、中国青年报、中国科学报、福建省电视台、福州日报、香港商报、雷锋网等多家媒体对大会的盛况进行了报道,爱奇艺对大会进行了现场直播。有来自近 700 家企事业单位的 6 000 多人到现场参会,2 万多人次在线参会,参会人数再创历史新高。大会得到了出门问问、滴滴出行、地平线、微软、百度等多家企业的赞助。CNCC 2018 将在杭州 G20 会场举办。